

张方方, 王建平, 王臣, 等. 陕西双王金矿床轴(垂)向黄铁矿中微量元素变化规律及深部预测[J]. 中国地质, 2014, 41(5): 1650-1663.
Zhang Fangfang, Wang Jianping, Wang Chen, et al. The vertical variation of trace elements and its applications to metallogenic prognosis in the Shuangwang gold deposit, Shaanxi Province[J]. Geology in China, 2014, 41(5): 1650-1663(in Chinese with English abstract).

陕西双王金矿床轴(垂)向黄铁矿中微量元素变化规律及深部预测

张方方¹ 王建平¹ 王 臣² 刘冲昊¹ 曹瑞荣³ 程建军³ 杨永荣³ 齐 峰³ 王 罗³

(1.中国地质大学(北京)地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083; 2.河北省承德市国土资源规划设计院, 河北 承德 067000; 3.陕西太白黄金矿业有限责任公司, 陕西 太白 716000)

摘要:风太矿集区是秦岭重要的铅锌金多金属成矿区之一, 双王金矿是该成矿区中典型的角砾岩型金矿床。本文采用格里戈良提出的原生晕分带指数法, 详细研究了双王金矿床KT9矿体和KT8矿体中ZK18-5、ZK30-1和ZK40-5 3个坑内钻孔的原生晕轴(垂)向分带特征, 通过各钻孔中原生晕分带指数垂向变化规律、微量元素衬值及地球化学参数分析进行深部矿化预测。结果显示, 双王金矿床原生晕轴(垂)向分带序列呈明显的反带现象, ZK18-5中在标高950 m附近矿化程度最好, 矿体向深部逐渐尖灭; ZK30-1在标高980 m附近矿化程度最好, 其深部预测有串珠状矿体存在, 深部矿化前景较好; ZK40-5在标高850 m附近矿化程度最好, 预测深部矿体仍有较大规模的延伸, 深部矿化前景较好。

关键词:微量元素; 深部预测; 双王金矿; 陕西

中图分类号:P632; P612 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2014)-05-1650-14

金矿床中, 黄铁矿是最常见的金属硫化物, 同时也是最主要的载金矿物之一。黄铁矿因其自身的特性, 备受国内外学者关注^[1-4]。黄铁矿中可包含30多种微量元素, 分别为Au, Ag, Cu, Pb, Zn, As, Sb, Ba, Hg, Se, Te, Ti, V, Cr, Mn, Co, Bi, Mo, Ni, W, Re, Ge, Ga, Cd, U, Th, Zr, Nb, Y和Yb^[5]。黄铁矿中微量元素的含量及成分与金矿化过程密切相关^[6-8], 其原生晕分带现象可以用来解译成矿地球化学信息^[9-12], 因此, 黄铁矿微量元素在金矿床中的变化规律成为重要的找矿预测标志^[13-16]。李惠等通过对原生晕分带性研究, 提出金矿床多期多阶段叠加成矿

晕的特点, 建立金矿体预测的分带模型及预测盲矿的叠加晕准则^[17-19], 为研究金矿床的剥蚀深度及预测深部矿化前景等方面起到了重要作用。

地处秦岭风太矿集区中的双王金矿床, 位于陕西省太白县西南部, 于1975年由陕西省第三地质队首先发现, 储量大于60 t, 该矿床以其独特的角砾岩型矿化特征备受大量学者关注^[20-25]。目前双王金矿床已开拓到第四中段即1100 m标高, 剩余资源量逐年减少, 急需进行深部探矿工作。本文则以现施工的KT9和KT8两个矿体中3个坑内钻孔为主要研究对象, 采集1100 m标高之下的岩心样品, 对各钻孔

收稿日期:2013-10-14; **改回日期:**2014-05-12

基金项目:国家自然科学基金项目(41030423、41272106)、中国黄金集团公司科技项目“陕西省太白县双王金矿床地质特征、成矿规律及找矿靶区再研究”联合资助。

作者简介:张方方, 女, 1990年生, 博士生, 矿物学、岩石学、矿床学专业; E-mail: zff19901008@126.com。

通讯作者:王建平, 男, 1972年生, 副教授, 主要从事矿床学教学与科研工作; E-mail: jpwang@cugb.edu.cn。

主成矿阶段形成的32件黄铁矿微量元素进行系统分析,研究其原生晕轴(垂)向分带特征,提取岩心样深部矿化信息,以便为该矿床进一步深部地质探矿工作提供理论依据和实践指导。

1 矿床地质概况

1.1 地质背景

秦岭造山带在大地构造上是华北和扬子克拉通的转换带,是中国重要的矿产资源储集地^[26-29]。秦岭造山带总体呈现出“三块两缝”的构造格局,即华北陆块、南秦岭陆块和扬子陆块以及商丹和勉略缝合

带(图1-a)^[30]。陕西双王金矿床则位于华北板块、秦岭微板块和扬子板块强烈碰撞结合部位,区域性深大断裂商丹断裂和同生大断裂礼县—凤镇—山阳断裂展布于矿区的两侧(图1-a),研究区属中秦岭弧前盆地系^[31]。

区内出露地层主要为泥盆系,为一套浅海相浅变质粉砂质泥岩、粉砂岩夹砂岩和碳酸盐岩沉积,地层总厚度大于5000 m。地层由老到新依次为:下泥盆统王家楞组(D_{1w})、中泥盆统古道岭组(D_{2g})、上泥盆统星红铺组(D_{3x})和九里坪组(D_{3j}),其间为整合接触(图2)。王家楞组(D_{1w})岩性主要为结晶灰岩、

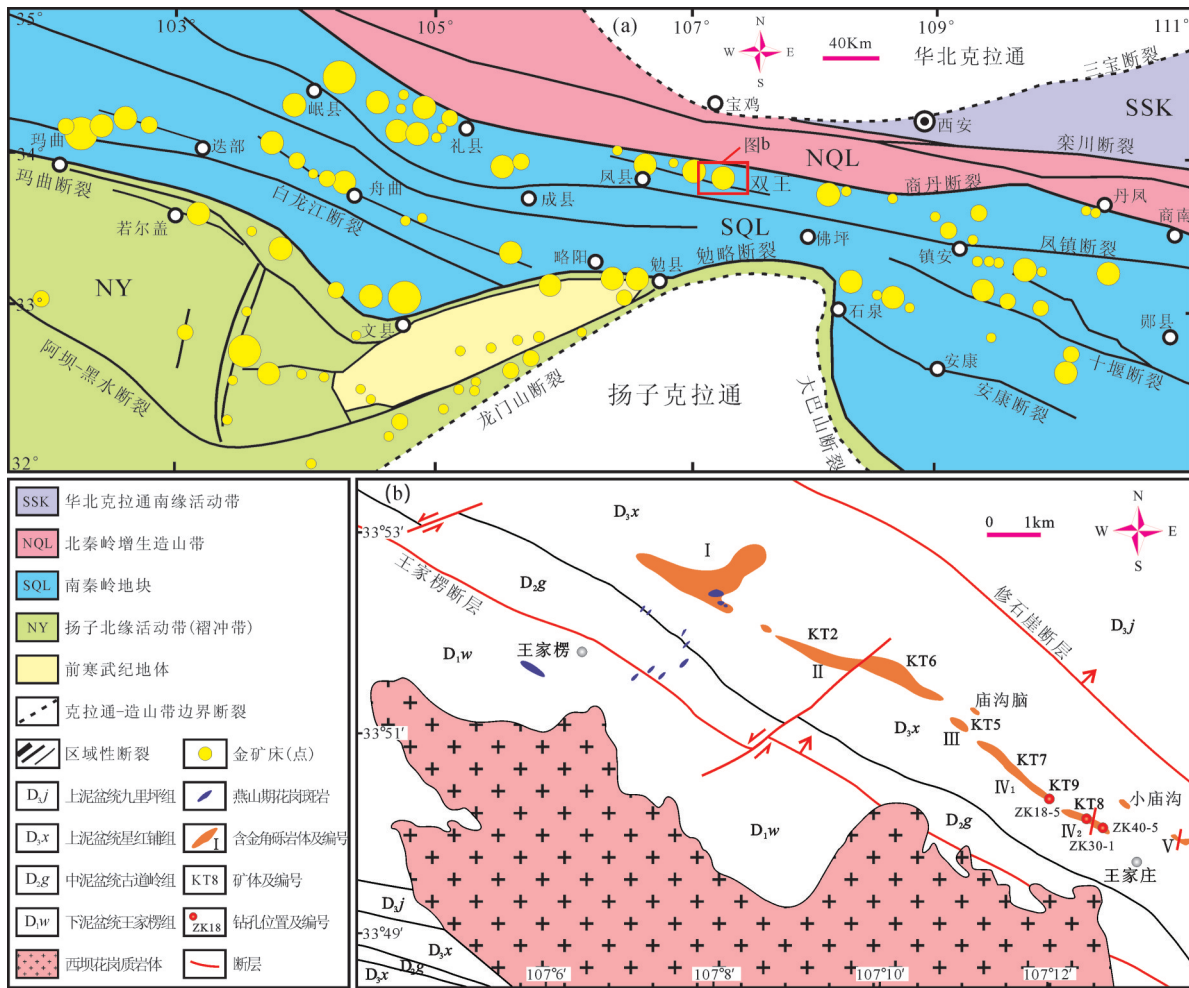


图1 秦岭构造单元划分图和双王金矿区地质简图

a—秦岭构造单元划分图及金矿床分布位置(据文献[22]); b—双王金矿区地质简图及本文采样钻孔位置(据文献[17]修改)

Fig. 1 Tectonic subdivision of the Qinling Mountains and simplified geological map of the Shuangwang gold deposit

a—Tectonic subdivision of the Qinling Mountains and location of the gold deposit (after reference [22]); b—Simplified geological map of the Shuangwang gold deposit (modified after reference [17])

亚组	段	层	柱状图 0 100m	厚度 /m	岩性描述
上亚组	D ₃ X ₂ ²			>14.00	浅灰色厚层状生物碎屑结晶灰岩
	D ₃ X ₂ ¹			>117.24	深灰色薄层泥质结晶灰岩、千枚状斑点板岩
下亚组	D ₃ X ₁ ³			141.20	灰绿色中层状粉砂质绢云板岩、薄层变质粉砂岩
		D ₃ X ₁ ²⁻⁴		100.00	浅绿色中—薄层状变质粉砂岩、粉砂质绢云板岩
	D ₃ X ₁ ²	D ₃ X ₁ ²⁻³		367.28	浅绿灰色粉砂质绢云板岩、薄层状粉砂岩
		D ₃ X ₁ ²⁻²		68.70	浅绿色薄—中层状变质粉砂岩、粉砂质绢云板岩
		D ₃ X ₁ ²⁻¹		170.00	薄层状变质粉砂岩、粉砂质绢云板岩
	D ₃ X ₁ ¹	D ₃ X ₁ ¹⁻²		263.00	粉砂质绢云板岩、薄层状泥岩、变质粉砂岩、千枚状钙质板岩、变质粉砂岩
		D ₃ X ₁ ¹⁻¹		>65.50	浅灰白色变质石英细砂岩、粉砂岩

图2 星红铺组地层划分及特征表(据文献[21])
Fig.2 Units of the Xinghongpu Formation and their characteristics (after reference [21])

变质粉砂岩、砂质板岩互层; 古道岭组(D₂g)主要展布于矿区中部, 岩性以变质粉砂岩、结晶灰岩、生物灰岩夹砂岩为主; 星红铺组(D₃x)可分为上下2个亚组(D₃x₁、D₃x₂), 其中星红铺组下亚组(D₃x₁)是主要的赋矿围岩, 岩性以砂岩、变质砂岩、钠长岩和板岩为主(图2); 九里坪组(D₃j)岩性主要为粉砂岩、板岩互层。

矿区内构造比较发育, 总体构造线大体呈NW-SE向, 由一系列复背斜构造、走向断裂构造以及次级褶皱和纵向断裂组成。矿区的主要褶皱构造为西坝复式背斜的次级背斜——银铜沟背斜, 金矿体即赋存于该背斜北翼的星红铺组中; 主要断裂为NW向的王家楞断层和修石崖断层(图1-b), 两者均为地层边界断层, 控制了含金角砾岩带及带内金矿床(体)的分布。

区内岩浆活动以印支期中酸性岩浆侵入为主, 形成西坝花岗质岩体(图1-b)。西坝岩体侵位于西坝复背斜轴部, 延伸方向为NWW向, 与双王含金角砾岩带的展布方向大致相同; 在矿区范围内出露面积约50 km², 主要由早期石英二长闪长岩和晚期二长花岗岩组成, 形成于双王金矿成矿(220 Ma)^[32]之前, 北距双王含金角砾岩带1~3 km。另外, 矿区内还发育燕山期一些规模不大的花岗斑岩脉(图1-b)。

1.2 含金角砾岩体特征

双王金矿区的角砾岩断续分布在北西走向的南、北2个带中, 总体呈NW-SE展布, 倾向NE, 最厚处可达120 m。其中南带位于红崖河王家楞以北的板桥至太白河镇王家庄之间, 全长约11.5 km, 由5个大小不等的角砾岩体组成, 角砾岩体在平面和剖面上都呈透镜状, 角砾岩体之间的间距介于500~800 m, 编号依次为I、II、III、IV、V; 北带大约与南带的IV、V号角砾岩体对应, 在其北部约1 km处出露。双王金矿体与角砾岩体产状、形态基本一致, 金矿赋存在角砾岩体中(图1-b), 有的角砾岩体全部矿化, 但并不是所有角砾岩体都成矿。其中IV号角砾岩体的KT8规模最大, 位于庙沟北坡22~50勘探线之间, 长度达680 m, 平均厚度38.39 m^[33]; 其次为IV号角砾岩体的KT9, 与KT8西邻, 中间以碳酸盐脉侵入隔开, 位于庙沟北坡3~22勘探线间, 矿体长607 m, 平均厚度17.66 m。本次32件角砾岩型矿石采自双王金矿区KT9和KT8矿体中钻孔ZK18-5、ZK30-1和ZK40-5, 分别位于矿区的18、30和40号勘探线上, 孔深分别为910 m、260 m和735 m, 采样钻孔剖面如图3所示。

双王金矿含金角砾岩体是以多阶段热液活动产物胶结的钠长角砾岩为主的复杂地质体。角砾成分主要为浅灰—浅棕黄色石英钠化板岩、粉砂质钠化板岩或铁白云石化板岩; 角砾形态多为棱角明显的板条状、多角状和不规则状, 一般具有可拼性; 角砾粒度大小从数毫米至几米不等, 无分选性。胶结物主要为多阶段热液活动产物, 以钠长石、含铁白云石为主, 其次有方解石、石英及黄铁矿等矿物集合体。金主要以自然金的形式赋存于黄铁矿中, 自然金以粒间金的形式为主, 充填于黄铁矿晶粒间隙或裂隙中。

1.3 矿石矿物特征及围岩蚀变

双王金矿的矿石矿物主要有黄铁矿, 其次为磁黄铁矿、黄铜矿等。脉石矿物主要有石英、钠长石、铁白云石、方解石, 其次为电气石、绿泥石、硬石膏、石膏、萤石等。矿石结构主要有包含结构、自形—半自形粒状结构、碎裂结构、交代结构; 矿石构造主要有细粒浸染状构造、角砾状构造、团块状构造、脉状、网状构造。

含金角砾岩的蚀变类型主要为强度不等的硅

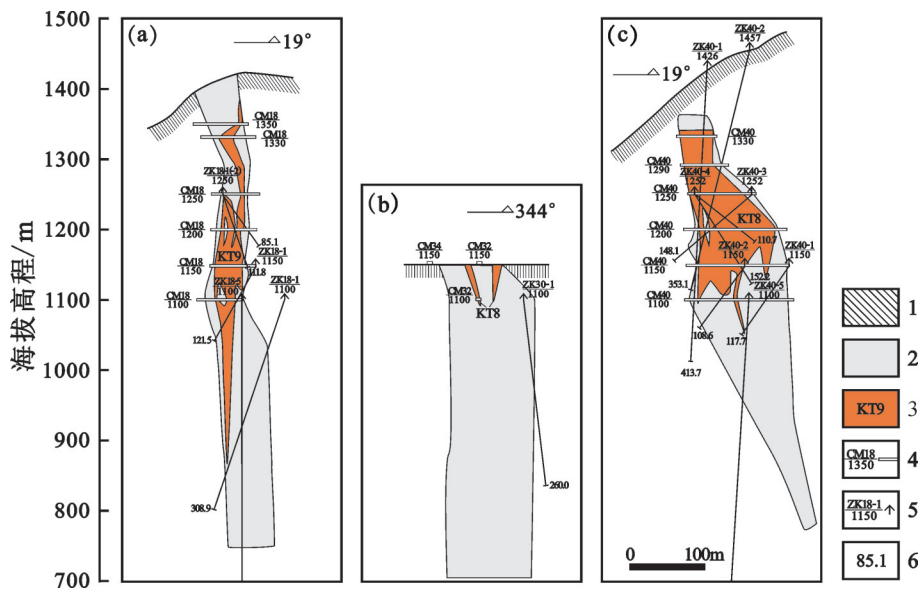


图3 双王金矿床KT9矿体(a)、KT8矿体(b、c)部分钻孔剖面图(据文献[34])

1—星红铺组粉砂质绢云板岩; 2—含铁白云石胶结角砾岩; 3—金矿体及编号; 4—穿脉位置及编号; 5—钻孔位置及编号; 6—钻孔深度

Fig.3 Cross-section of KT9 (a), KT8 (b, c) in the Shuangwang gold deposit (after reference [34])

1—Xinghongpu Formation: silty sericite slate; 2—Ankerite cementing breccias; 3—Orebody and its serial number; 4—Location and serial number of transverse drift; 5—Location and serial number of drill hole; 6—Depth of drill hole

化、钠长石化、黄铁矿化、碳酸盐化及少量的褐铁矿化。硅化早期较发育,以细脉、浸染状形式产于钠长岩中;钠长石化主要表现为粉砂质板岩、变质粉砂岩及其角砾的颜色由灰色-灰绿色蚀变为灰白色、浅棕黄色;黄铁矿化主要发育于近矿范围内,以浸染状、细脉状产于围岩和角砾中^[35]。

1.4 成矿阶段划分

双王金矿床是多期多阶段热液作用的产物,根据脉体穿插关系、矿石矿物组合,成矿过程可划分为4个阶段^[20]。I阶段:含铁白云石-石英-钠长石阶段,主要矿物为钠长石,其次为石英和铁白云石,含少量的胶状黄铁矿;II阶段:石英-钠长石-黄铁矿-含铁白云石阶段,主要矿物为含铁白云石、黄铁矿,其次为钠长石和石英,黄铁矿呈浸染状分布于胶结物中;III阶段:黄铁矿-方解石-石英阶段,主要形成黄铁矿、方解石和石英,含粗晶黄铁矿的石英脉呈团块状、或不规则脉状穿插于角砾岩中;IV阶段:萤石-迪开石-石膏阶段,不含黄铁矿等硫化物,含Au量很低。其中,II阶段黄铁矿-含铁白云石阶段为主要成矿阶段,该阶段热液活动强烈,影响范围广,矿化程度高。

2 金矿床轴(垂)向不同标高黄铁矿中微量元素含量特征

本文32件钻孔角砾岩型矿石样品经破碎、分选、黄铁矿单矿物提纯后,进行单矿物微量元素分析测试,测试工作在核工业北京地质研究院分析测试中心完成,共测试8种微量元素(Sb、Ba、Cu、Pb、Zn、Mo、Bi、Co),测试仪器为Finnigan MAT公司生产的高分辨电感耦合等离子体质谱仪(HR-ICP-MS Element I),测试方法依据DZ/T0223-2001(电感耦合等离子体质谱仪ICP-MS)方法通则。据李惠等(2000)^[36]提出的双王金矿床原生叠加晕的理想模式及双王金矿最佳指示元素组合,本文选取Sb、Ba作为前缘晕特征指示元素,Cu、Pb、Zn为近矿晕特征指示元素,Bi、Mo、Co作为尾晕特征指示元素。上述各单矿物样品8种微量元素的测试数据结果如表1,具体特征如下:

(1)钻孔ZK18-5中微量元素特征:头晕元素Sb变化范围为 $0.56 \times 10^{-6} \sim 4.33 \times 10^{-6}$,平均值为 2.43×10^{-6} ;Ba变化范围为 $0.46 \times 10^{-6} \sim 2.07 \times 10^{-6}$,平均值为 1.16×10^{-6} 。近矿晕元素Cu变化范围为 $65.00 \times 10^{-6} \sim$

表1 双王金矿床KT9和KT8黄铁矿微量元素含量(10^{-6})
Table1 Content of trace elements of pyrite from KT9, KT8 in the Shuangwang gold deposit (10^{-6})

样号	标高/H	原生晕									总和 Σ
		头晕		近矿晕			尾晕				
		Sb	Ba	Cu	Pb	Zn	Bi	Mo	Co		
ZK18-5-1	1092	0.576	0.819	81.5	2.42	21.1	0.735	0.138	356	463.288	
ZK18-5-3	1059	2.700	1.330	101.0	31.80	22.1	11.600	0.414	173	343.944	
ZK18-5-4	1039	3.910	0.634	113.0	1.94	23.5	1.020	0.052	36	180.156	
ZK18-5-5	1022	2.810	2.720	86.2	6.55	23.2	3.440	0.198	470	595.118	
ZK18-5-7	980	0.368	1.320	85.1	2.32	20.2	0.769	0.248	187	297.325	
ZK18-5-9	948	2.010	0.502	76.2	7.73	21.2	2.710	0.262	18	128.914	
ZK18-5-10	927	1.400	2.070	70.4	8.08	18.0	3.520	0.208	73	176.578	
ZK18-5-11	905	2.150	0.914	83.9	8.58	18.6	4.990	0.294	89	208.728	
ZK18-5-13	871	3.530	0.652	73.1	13.00	17.8	11.300	0.146	386	505.528	
ZK18-5-15	839	4.330	1.300	73.9	9.84	20.6	8.610	4.940	182	305.520	
ZK18-5-16	817	2.980	0.455	65.0	2.98	16.9	3.130	0.155	296	387.600	
ZK30-1-1	1098	0.700	0.566	87.9	5.01	15.1	7.520	0.476	105	222.272	
ZK30-1-2	1081	0.823	3.430	72.6	3.60	16.0	4.810	0.663	608	709.926	
ZK30-1-3	1058	1.020	0.527	73.5	2.54	23.7	3.880	0.145	84	189.412	
ZK30-1-5	1014	0.937	0.810	65.2	4.92	18.0	10.500	0.196	282	382.563	
ZK30-1-6	998	0.926	0.148	75.7	4.44	18.2	8.420	0.857	52	160.591	
ZK30-1-7	980	4.320	9.660	386.0	19.30	18.2	17.700	0.552	434	889.732	
ZK30-1-8	968	1.470	1.180	93.6	6.32	18.4	33.100	7.200	142	303.270	
ZK30-1-9	952	1.210	0.646	73.7	6.35	15.5	4.160	0.338	98	199.604	
ZK30-1-10	928	11.200	1.330	86.8	14.00	14.8	3.970	0.205	330	462.305	
ZK40-5-3	1090	0.491	0.730	73.9	2.09	19.0	2.450	0.097	22	120.958	
ZK40-5-5	1060	0.302	1.260	59.6	1.21	14.7	1.280	0.182	9	87.074	
ZK40-5-7	1034	0.811	1.370	64.5	8.89	17.8	3.490	1.640	81	179.701	
ZK40-5-8	1003	0.594	0.430	67.6	3.00	16.6	1.930	0.219	729	819.373	
ZK40-5-9	965	0.531	1.750	61.5	4.90	15.4	2.870	0.644	277	364.595	
ZK40-5-11	945	0.501	3.170	80.6	3.77	16.7	5.440	0.991	1871	1982.172	
ZK40-5-12	925	0.501	0.960	66.3	4.22	13.4	15.700	0.399	388	489.480	
ZK40-5-15	894	1.830	1.040	75.9	13.20	14.6	6.260	0.884	3959	4072.714	
ZK40-5-17	883	1.070	0.194	73.3	3.95	15.9	4.800	0.201	2415	2514.415	
ZK40-5-19	854	1.530	0.275	70.9	7.20	31.7	3.040	0.178	488	602.823	
ZK40-5-21	813	1.420	0.502	79.0	21.10	33.1	5.640	0.223	188	328.985	
ZK40-5-23	780	5.010	0.655	80.0	16.70	18.3	8.620	0.235	107	236.520	

注: 测试单位为核工业北京地质研究院分析测试研究中心, 2012。

113.00×10⁻⁶, 平均值为82.66×10⁻⁶; Pb变化范围为1.94×10⁻⁶~31.8×10⁻⁶, 平均值为8.66×10⁻⁶; Zn变化范围为16.90×10⁻⁶~23.50×10⁻⁶, 平均值为20.29×10⁻⁶。尾晕元素Bi变化范围为0.74×10⁻⁶~11.60×10⁻⁶, 平均值为4.71×10⁻⁶; Mo变化范围为0.14×10⁻⁶~4.94×10⁻⁶, 平均值为0.64×10⁻⁶; Co变化范围为18.30×10⁻⁶~470.00×10⁻⁶, 平均值为206.05×10⁻⁶。

(2) 钻孔ZK30-1中微量元素特征: 头晕元素Sb变化范围为0.70×10⁻⁶~11.20×10⁻⁶, 平均值为2.51×10⁻⁶; Ba变化范围为0.15×10⁻⁶~9.66×10⁻⁶, 平均值为2.03×10⁻⁶。近矿晕元素Cu变化范围为65.20×10⁻⁶~386.00×10⁻⁶, 平均值为112.78×10⁻⁶; Pb变化范围为2.54×10⁻⁶~19.30×10⁻⁶, 平均值为7.39×10⁻⁶; Zn变化范围为15.10×10⁻⁶~23.70×10⁻⁶, 平均值为17.54×10⁻⁶。尾晕元素Bi变化范围为3.88×10⁻⁶~33.10×10⁻⁶, 平均值为10.45×10⁻⁶; Mo变化范围为0.15×10⁻⁶~7.20×10⁻⁶, 平均值为1.18×10⁻⁶; Co变化范围为51.90×10⁻⁶~608.00×10⁻⁶, 平均值为237.19×10⁻⁶。

(3) 钻孔ZK40-5中微量元素特征: 头晕元素Sb变化范围为0.30×10⁻⁶~5.01×10⁻⁶, 平均值为1.26×10⁻⁶; Ba变化范围为0.19×10⁻⁶~3.17×10⁻⁶, 平均值为1.03×10⁻⁶。近矿晕元素Cu变化范围为59.60×10⁻⁶~80.60×10⁻⁶, 平均值为70.09×10⁻⁶; Pb变化范围为1.21×10⁻⁶~21.10×10⁻⁶, 平均值为7.52×10⁻⁶; Zn变化范围为13.40×10⁻⁶~33.10×10⁻⁶, 平均值为18.93×10⁻⁶; 尾晕元素Bi变化范围为1.28×10⁻⁶~15.70×10⁻⁶, 平均值为5.13×10⁻⁶; Mo变化范围为0.10×10⁻⁶~1.64×10⁻⁶, 平均值为0.49×10⁻⁶; Co变化范围为8.54×10⁻⁶~3959.00×10⁻⁶, 平均值为877.83×10⁻⁶。

3 金矿床轴(垂)向不同标高黄铁矿中微量元素变化规律及深部预测

3.1 轴(垂)向分带序列及深部预测

原生晕的分带性, 可以反映成矿成晕元素在成矿地球化学过程中在空间上的积聚规律, 对金矿深部预测、矿体剥蚀程度及盲矿体预测具有重要意义^[37]。李惠等研究和统计了中国63个典型金矿床的原生晕轴向(垂向)分带序列, 得出我国金矿床原生晕轴向从上到下具有B-As-Hg-F-Sb-Ba(矿体上部)-Pb-Ag-Au-Zn-Cu(矿体中部)-W-Bi-Mo-Mn-Ni-Cd-Co-Ti(矿体下部)正向分带序列^[18]。

如果出现反向分带, 说明有向深部延伸的另一阶段矿体前缘晕的叠加或深部有盲矿体存在。由于双王金矿成矿成晕的多期性, 深部探矿工程对原生晕的空间控制等问题, 轴向分带的确定比较困难。本文为保证确定轴向分带的准确性, 采用C.B. 格里戈良提出的分带指数法进行数据处理并分析各钻孔原生晕轴(垂)向分带序列^[38]。首先, 计算各钻孔不同标高原生晕元素的线金属量, 然后将各原生晕元素的线金属量值进行标准化, 统一线金属量最大值的数量级, 再分别计算轴向分带指数、变化分带指数, 最后确定各原生晕元素具体分带序列位置, 得到各钻孔原生晕轴(垂)向分带序列(表2)。

双王金矿区内前缘晕元素组合为Sb、Ba, 近矿晕元素组合为Cu、Pb、Zn, 尾晕元素组合为Co、Mo、Bi。由表2可知, ZK18-5中Co、Bi、Ba存在反带, 其他为正常序列; ZK30-1中Co、Pb存在反带, 其他为正常序列; ZK40-5中Co、Mo、Sb存在反带, 其他为正常序列。根据该矿区原生晕元素组合特征以及各钻孔原生晕轴(垂)向分带序列可以看出, ZK18-5分带趋势为: 尾晕→近矿晕→尾晕, 指示矿体向深部逐渐尖灭; 钻孔ZK30-1和钻孔ZK40-5中的分带趋势不明显, 其深部矿化前景还需进一步分析研究。

3.2 轴(垂)向分带指数及深部预测

根据上述计算得到的原生晕元素分带指数, 将各样品元素按照头晕、近矿晕和尾晕分为3组, 分析其原生晕分带指数垂向变化规律, 探讨各钻孔原生晕叠加模式及深部矿化前景。

图4为各钻孔原生晕分带指数垂向变化规律, 由图可见, ZK18-5中, 在标高1 039 m和标高948 m附近近矿晕及头晕元素富集程度较高, 且尾晕元素Bi、Mo、Co相对分散, 认为这两处附近矿化程度较高。其中, 1 039 m以下矿体相对948 m以下矿体所含近矿晕元素Cu、Pb、Zn较高, 表明在控制标高范

表2 双王金矿原生晕轴(垂)向分带序列
Table 2 Primary halo axial/vertical zoning sequence in the Shuangwang gold deposit

孔号	原生轴(垂)向分带序列(从上到下)	标高H/m
ZK18-5	Co-Bi-Pb-Sb-Cu-Ba-Zn-Mo	1 092-817
ZK30-1	Ba-Co-Zn-Sb-Cu-Bi-Mo-Pb	1 098-928
ZK40-5	Cu-Mo-Ba-Co-Zn-Pb-Bi-Sb	1 090-780

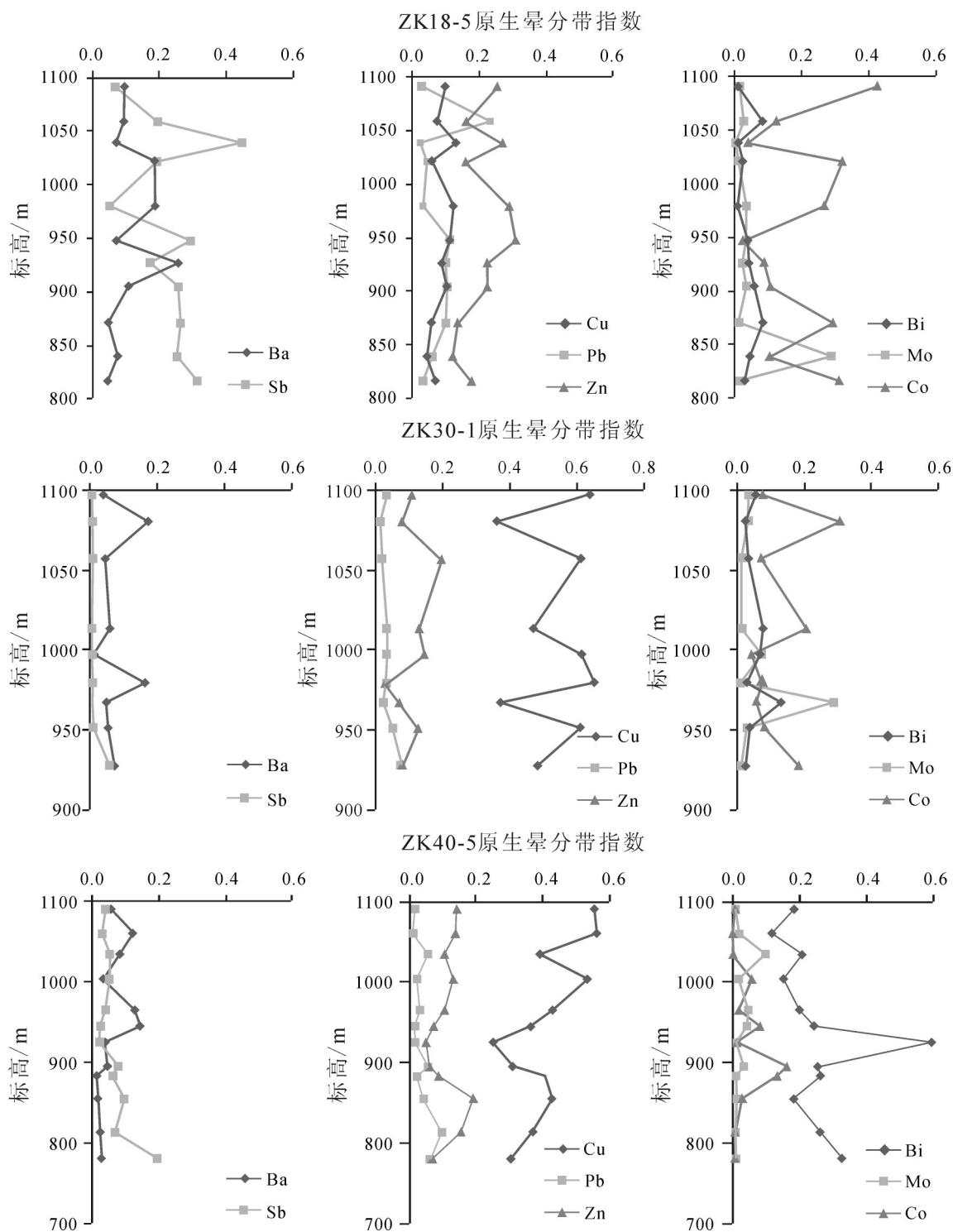


图4 双王金矿床各钻孔原生晕分带指数垂向变化图
 Fig.4 Vertical variation of the zoning rate of primary halos of various drill holes in the Shuangwang gold deposit

围内中上部矿化程度较高, 中下部矿化程度较低, 在钻孔取样标高位置底部尾晕元素逐渐富集, 近矿

晕元素逐渐分散, 推测其深部矿化前景较差。ZK30-1中, 在标高980 m附近头晕元素出现明显富

集,同时尾晕元素含量明显分散,表明该处附近有新矿体出露。另外,近矿晕元素Cu较ZK18-5和ZK40-5中富集,矿化程度相对较好。ZK40-5中,头晕元素富集程度变化波动较小,在标高1060 m附近尾晕元素含量较分散,近矿晕元素相对富集,该标高以下延伸矿体矿化较好。而且,在标高854~780 m间出现头晕指示元素和尾晕指示元素的小规模叠加,推测深部有盲矿体出现,矿化前景较好。

3.3 微量元素衬值及深部预测

一般来说,金矿床中黄铁矿微量元素在空间上有明显的分布规律^[39]。Sb、Ba、Hg、Se、Te等低温亲铜元素多富集在矿体上部或顶部边缘晕的黄铁矿中;Cu、Pb、Zn等中温亲铜元素多富集在矿体中部的黄铁矿中;而Bi、Mo、Co、Ni、Ti等高温亲铁、亲石元素多富集在矿体下部或底部的黄铁矿中。如果黄铁矿中中低温微量元素相对富集并且含量变化较大时,表明金矿化程度较好。同时考虑到研究区各微量元素的背景值差别较大,因此为了消除背景值对深部评价工作的影响,本文通过计算各微量元素相对平均值及衬值的方法对黄铁矿微量元素进行统计分析,并应用三角形图解的分析方法研究各钻孔微量元素的空间分布特征,进一步探讨论证本区深部的矿化前景。

首先,使用SPSS软件对KT9和KT8的样品数据进行离群点的迭代处理,得出样品数据分布的箱状图(图5),将不符合正态分布的数据剔除,再进行平均值计算,即可得到各元素地球化学相对平均值(表3)。然后将各元素的原始含量数据除以其相对平均值,得到各自衬值数据。这样衬值的大小反映了各样品中所含元素异常程度的大小,且各元素的衬值数量级相同,无量纲。再根据双王金矿体的原生晕元素组合特征,将计算出的衬值分组统计。本文将元素衬值分为3组: $w(\text{Sb}+\text{Ba})$ 、 $w(\text{Cu}+\text{Pb}+\text{Zn})$ 、 $w(\text{Bi}+\text{Mo}+\text{Co})$,得出衬值累加数据统计结果如表4所示。最后,以 $w(\text{Sb}+\text{Ba})$ 、 $w(\text{Cu}+\text{Pb}+\text{Zn})$ 、 $w(\text{Bi}+\text{Mo}+\text{Co})$ 为3个端元,进行三角图解分析(图6),即将元素衬值分组累加值投影到该三角图内。若投影点靠近 $w(\text{Sb}+\text{Ba})$ 端,说明此黄铁矿处于矿体上部;若投影点靠近 $w(\text{Cu}+\text{Pb}+\text{Zn})$ 端,表明此黄铁矿处于矿中部;若投影点靠近 $w(\text{Bi}+\text{Mo}+\text{Co})$ 端元,则此黄铁矿处于矿体下部。

从图6中看出,ZK18-5中大部分投点位置处于 $w(\text{Cu}+\text{Pb}+\text{Zn})$ 和 $w(\text{Sb}+\text{Ba})$ 两端元之间,即位于矿体中部;投点10靠近 $w(\text{Bi}+\text{Mo}+\text{Co})$ 端元,实际标高为839 m,位于矿体下部;投点9、11处于三角图的中心位置,由于该处样品中近矿晕元素实际含量较

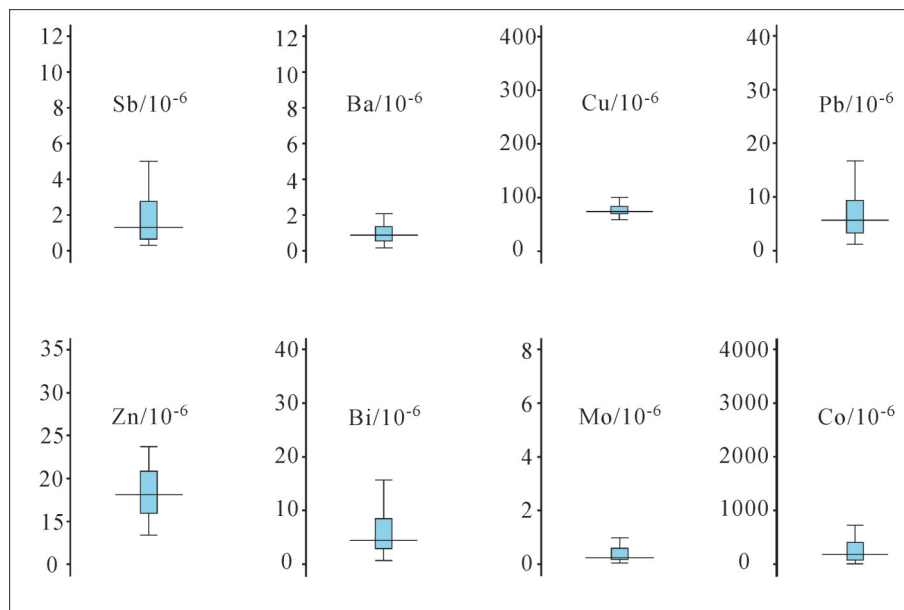


图5 各微量元素多元统计箱状图

Fig.5 Multivariate statistical analysis of each trace element

表3 双王金矿KT9、KT8微量元素相对平均值(10⁻⁶)
Table 3 Relative mean values of elements of KT9 and KT8 in the Shuangwang gold deposit (10⁻⁶)

元素	相对平均值	元素	相对平均值
Sb	1.702	Zn	18.116
Ba	0.87	Bi	4.134
Cu	75.082	Mo	0.612
Pb	5.823	Co	466.72

小, 认为其矿化程度与上部矿体相对较差; 据此推断从控制标高上部到下部, 矿体逐渐尖灭, 控制标高底部附近已接近矿体尾部, 其矿体向深部延伸不大。ZK30-1的2、6、9点的位置分布在w(Sb+Ba)端元附近, 黄铁矿微量元素衬值沿垂向表现出波动变化特征, 与前述黄铁矿地球化学参数值旋回式变化规律呈高度的一致性, 显示出金矿床形成的多期多阶段性, 指示在深部可能有串珠状盲矿体存在。ZK40-5的投点6~9位于w(Bi+Mo+Co)端元附近, 即位于矿体的下部; 但投点10~12靠近w(Cu+Pb+Zn)端元, 实际标高为854~780 m, 空间位置处于矿体的中下部; 据此推测在标高854 m附近存在第二个矿体, 向深部矿体仍有较好的金矿化前景。

3.4 轴(垂)向地球化学参数及深部预测

本文利用Sb、Ba、Mo、Bi、Co指示元素, 构建地球化学参数以揭示深部矿化信息。地球化学参数G为头晕元素含量累加与尾晕元素累加的比值, 表示头晕元素相对于尾晕元素的发育程度。其计算公式为:

$$G = \frac{w(\text{Sb} + \text{Ba})}{w(\text{Bi} + \text{Mo} + \text{Co})}$$

若G值越大, 表示矿体头部晕特征越明显, 深部矿体存在的可能性越大; 反之, 则表示矿体尾部晕特征发育, 深部存在矿体的可能性越小^[38]。若G值在垂向上发生“转折”, 即由降→升, 表示有另一阶段的矿体头部晕叠加, 指示矿体向下部仍有延伸; 若G值在矿体尾部出现“转折”表明深部有盲矿存在^[18]。各钻孔地球化学参数垂向变化如图7所示。

由图7可以看出, ZK18-5中在标高1 039 m附近和948 m附近G值出现2处波峰, 且2处G值波峰大小相当, 因此推测948 m附近可能为新矿体出露部位, 1 039 m以下再现的矿体和948 m以下再现的矿体规模近似, 所以推断在控制标高底部817 m以下矿体逐渐尖灭。另外, 在垂向上近矿晕元素Cu、Pb、Zn在标高948 m以下呈逐渐递减趋势, 尾晕元素含量Mo、Co逐渐增加, 说明其深部矿化前景较差。

ZK30-1中, 地球化学参数G值在垂向上呈脉动状, 波峰和波谷依次出现, 反映了该矿床具有多期多阶段成矿的特点, 且成矿环境较不稳定。该钻孔中原生晕轴(垂)向地球化学参数的叠加结构与李惠等(1999)^[18]提出的金矿床轴(垂)向地球化学参数叠加结构的理想模型E相似, 整体上G值略呈逐渐增大的趋势, 到钻孔尾部标高时G值又升高, 指示深部有串珠状盲矿存在。

ZK40-5中, 地球化学参数G值总体上波动较小, 只在标高1 060 m附近出现明显的头部晕特征, 表明其成矿环境较稳定, 1 060 m以下延伸矿体矿化

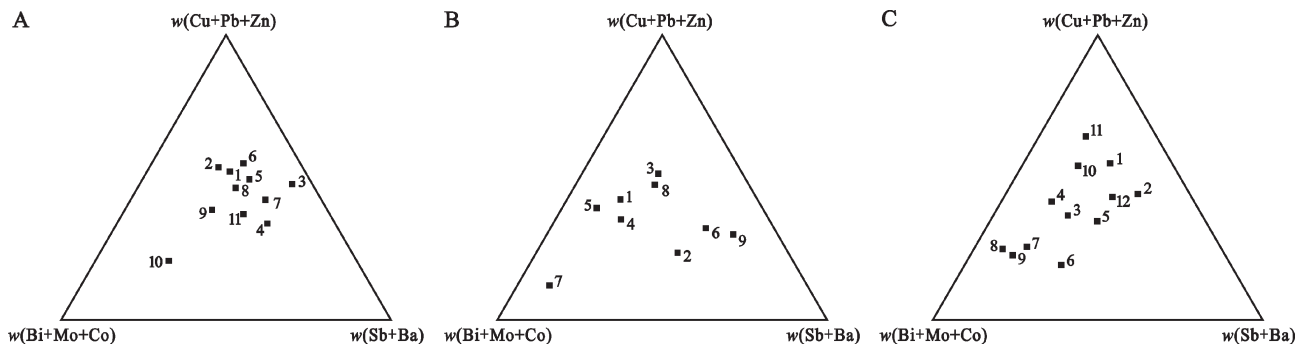


图6 黄铁矿微量元素衬值分组投点图解

A—ZK18-5投点图; B—ZK30-1投点图; C—ZK40-5投点图

Fig.6 Trigonal illustration of pyrite composition characteristics

A—ZK18-5 trigonal illustration; B—ZK30-1 trigonal illustration; C—ZK40-5 trigonal illustration

表4 双王金矿床KT9、KT8微量元素衬值累加统计
Table 4 Threshold of trace elements of pyrite from KT9 and KT8 in the Shuangwang gold deposit

样号	w(Sb+Ba)	w(Cu+Pb+Zn)	w(Bi+Mo+Co)	Σ	w(Sb+Ba)/ Σw	w(Cu+Pb+Zn)/ Σw	w(Bi+Mo+Co)/ Σw
ZK18-5-1	1.28	2.67	1.17	5.11	0.25	0.52	0.23
ZK18-5-3	3.11	8.03	3.85	14.99	0.21	0.54	0.26
ZK18-5-4	3.03	3.14	0.41	6.57	0.46	0.48	0.06
ZK18-5-5	4.78	3.55	2.16	10.49	0.46	0.34	0.21
ZK18-5-7	1.73	2.65	0.99	5.37	0.32	0.49	0.18
ZK18-5-9	1.76	3.51	1.12	6.39	0.27	0.55	0.18
ZK18-5-10	3.20	3.32	1.35	7.87	0.41	0.42	0.17
ZK18-5-11	2.31	3.62	1.88	7.81	0.30	0.46	0.24
ZK18-5-13	2.82	4.19	3.80	10.81	0.26	0.39	0.35
ZK18-5-15	4.04	3.81	10.55	18.40	0.22	0.21	0.57
ZK18-5-16	2.27	2.31	1.64	6.23	0.37	0.37	0.26
ZK30-1-1	1.06	2.86	2.82	6.75	0.16	0.42	0.42
ZK30-1-2	4.42	2.47	3.55	10.44	0.42	0.24	0.34
ZK30-1-3	1.20	2.72	1.36	5.28	0.23	0.52	0.26
ZK30-1-5	1.48	2.71	3.46	7.65	0.19	0.35	0.45
ZK30-1-6	0.71	2.78	3.55	7.04	0.10	0.39	0.50
ZK30-1-7	13.64	9.46	6.11	29.21	0.47	0.32	0.21
ZK30-1-8	2.22	3.35	20.08	25.65	0.09	0.13	0.78
ZK30-1-9	1.45	2.93	1.77	6.15	0.24	0.48	0.29
ZK30-1-10	8.11	4.38	2.00	14.49	0.56	0.30	0.14
ZK40-5-3	1.13	2.39	0.80	4.32	0.26	0.55	0.18
ZK40-5-5	1.63	1.81	0.63	4.06	0.40	0.45	0.15
ZK40-5-7	2.05	3.37	3.70	9.12	0.22	0.37	0.41
ZK40-5-8	0.84	2.33	2.39	5.56	0.15	0.42	0.43
ZK40-5-9	2.32	2.51	2.34	7.17	0.32	0.35	0.33
ZK40-5-11	3.94	2.64	6.95	13.52	0.29	0.20	0.51
ZK40-5-12	1.40	2.35	5.28	9.03	0.15	0.26	0.59
ZK40-5-15	2.27	4.08	11.44	17.80	0.13	0.23	0.64
ZK40-5-17	0.85	2.53	6.66	10.05	0.08	0.25	0.66
ZK40-5-19	1.21	3.93	2.07	7.22	0.17	0.54	0.29
ZK40-5-21	1.41	6.50	2.13	10.05	0.14	0.65	0.21
ZK40-5-23	3.70	4.94	2.70	11.34	0.33	0.44	0.24

程度较好。此外,在钻孔取样尾部标高854 m附近G值由降低转为升,指示深部有盲矿体存在。

4 结 论

(1)根据金矿体原生晕轴垂向叠加模式判断:

ZK18-5中上部近矿元素富集,矿化程度较中下部高,在标高948 m附近头晕元素富集且尾晕元素分散,认为为新矿体出露位置,取样标高底部尾晕元素含量增加,推测其深部矿化前景较差;ZK30-1中在标高980 m附近头晕元素出现明显富集,同时尾

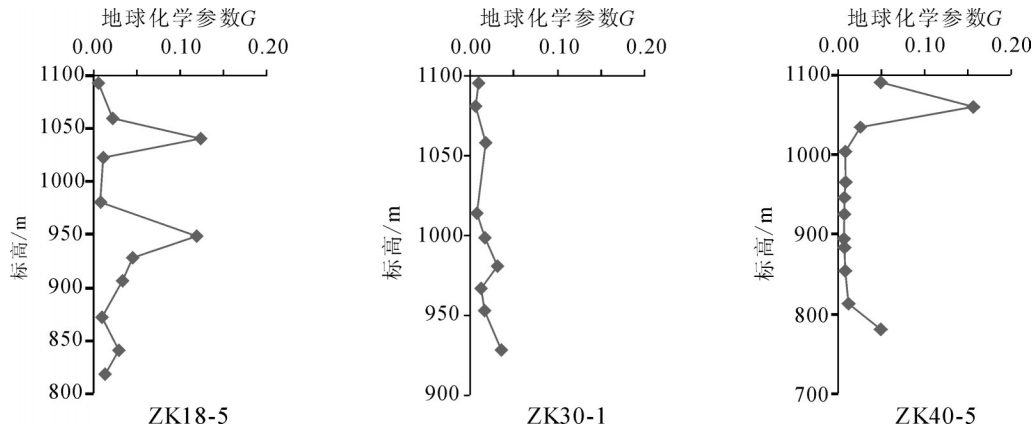


图7 双王金矿床各钻孔地球化学参数垂直变化规律

Fig.7 Fluctuation curve of geochemical parameters in vertical direction of various drill holes in the Shuangwang gold deposit

晕元素含量明显降低,表明该处附近有新矿体出露;ZK40-5中在标高854~780 m出现头晕元素和尾晕元素的小规模叠加,推测深部有盲矿体出现,矿化前景较好。

(2)根据三角衬值累加图解分析判断:ZK18-5中在839 m标高附近已接近矿体底部,其矿体向深部延伸不大;ZK30-1中黄铁矿微量元素特征值沿垂向表现出波动变化特征,与前述黄铁矿地球化学参数值旋回式变化规律呈高度的一致性,显示出金矿床形成的多期多阶段性,指示在深部可能有串珠状盲矿体存在;ZK40-5中根据投点10、11、12在三角分析图的位置,推测该标高的空间位置处于矿体的中下部,深部仍具有较好的金矿化前景。

(3)根据地球化学参数G值分析判断:ZK18-5中在标高1039 m附近和948 m附近为新矿体出露位置,在控制标高底部817 m以下矿体逐渐尖灭;ZK30-1中总体上G值呈逐渐增大的趋势,到钻孔尾部标高时G值又升高,指示深部有串珠状盲矿存在;ZK40-5中地球化学参数G值总体上波动较小,在钻孔取样尾部标高854 m附近G值由降转为升,指示深部有盲矿体存在。

(4)结合同一钻孔中金矿体原生晕分带指数垂向变化规律、三角衬值累加投点图以及地球化学参数G值垂向变化规律,进行综合分析可知:双王金矿床KT9中ZK18-5在标高950 m附近矿化程度最好,向深部矿体逐渐尖灭;KT8中ZK30-1和ZK40-5深部矿化前景较好,其中ZK30-1在标高980 m附

近矿化程度最好,ZK40-5在标高850 m附近矿化程度最好。

致谢:审稿专家及编辑部杨艳老师对论文提出了宝贵修改意见,在此致以诚挚的谢意!

参考文献(References):

- [1] 胡楚雁. 黄铁矿的微量元素及热电性和晶体形态分析[J]. 现代地质, 2001, 15(2): 238-241.
Hu Chuyan. Characteristic of trace elements, thermoelectricity and crystal form of pyrite[J]. Geoscience, 2001, 15(2): 238-241(in Chinese with English abstract).
- [2] Zhao Haixiang, Frimmel Hatrwing E, Jiang Shaoyong, et al. LA-ICP-MS trace element analysis of pyrite from the Xiaoqingling gold district, China: Implications for ore genesis[J]. Ore Geology Reviews, 2011, 43(1): 142-153.
- [3] 薛建玲, 李胜荣, 孙文燕, 等. 胶东邓格庄金矿黄铁矿成因矿物学特征及其找矿意义[J]. 中国科学(D辑), 2013, 43(11): 1857-1873.
Xue Jianling, Li Shengrong, Sun Wenyan, et al. Characteristics of the genetic mineralogy of pyrite and its significance for prospecting in the Denggezhuang gold deposit, Jiaodong Peninsula, China[J]. Science in China(Series D), 2013, 43(11): 1857-1873(in Chinese).
- [4] Zhang Jing, Deng Jun, Chen Huayong, et al. LA-ICP-MS trace element analysis of pyrite from the Chang'an gold deposit, Sanjiang region, China: Implication for ore-forming process[J]. Gondwana Research, 2013, doi: 10.1016/j.gr.2013.11.003.
- [5] 刘英俊, 马东升. 金的地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1991, 67-74.
Liu Yingjun, Ma Dongsheng. The Gold Geochemistry[M]. Beijing: Sciences Press, 1991: 67-74(in Chinese with English abstract).
- [6] Beus A A, Grigorian S V, Geochemical Exploration Methods for

- Mineral Deposits[M]. Wilmette, Illinois: Applied Publishing Ltd., 1977: 1-287.
- [7] 李红兵, 曾凡治. 金矿中的黄铁矿标型特征[J]. 地质找矿论丛, 2005, 20(3): 199-203.
Li Hongbing, Zeng Fanzhi. The pyrite's typomorphic characteristics in gold deposit[J]. Contribution to Geology and Mineral Resource Research, 2005, 20(3): 199-203(in Chinese with English abstract).
- [8] 严育通, 张娜, 李胜荣, 等. 胶东各类型金矿床黄铁矿化学成分标型特征[J]. 地学前缘, 2013, 20(3): 88-93.
Yan Yutong, Zhang Na, Li Shengrong, et al. Compositional typomorphic characteristics of pyrite in each type of gold deposit of Jiaodong[J]. Earth Science Frontiers, 2013, 20(3): 88-93(in Chinese with English abstract).
- [9] Goldberg I S, Abramson G Y, Los V L. Depletion and enrichment of primary haloes: Their importance in the genesis of and exploration for mineral deposits[J]. Geochemistry, 2003, 3: 281-293.
- [10] 刘崇民. 金属矿床原生晕研究进展[J]. 地质学报, 2006, 80(10): 1528-1538.
Liu Chongmin. Progress in studies on primary halos of ore deposit[J]. Acta Geologica Sinica, 2006, 80 (10): 1528-1538(in Chinese with English abstract).
- [11] 孙莉, 肖克炎, 高阳. 彩霞山铅锌矿原生晕地球化学特征及深部矿产评价[J]. 吉林大学学报, 2013, 43(4): 1179-1189.
Sun li, Xiao Keyan, Gao Yang. Primary halos characteristics of Caixiashan Pb-Zn deposit and prediction for deep mineralization[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2013, 43(4): 1179-1189(in Chinese with English abstract).
- [12] Wang Changming, Emmanuel John M. Carranza, Zhang Shouting, et al. Characterization of primary geochemical haloes for gold exploration at the Huanxiangwa gold deposit, China[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2013, 124: 40-58.
- [13] 申俊峰, 李胜荣, 马广钢, 等. 玲珑金矿黄铁矿标型特征及其大纵深变化规律与找矿意义[J]. 地学前缘, 20(3): 55-75.
Shen Junfeng, Li Shengrong, Ma Guanggang, et al. Typomorphic characteristics of pyrite from the Linglong gold deposit: Its vertical variation and prospecting significance[J]. Earth Science Frontiers, 2013, 20(3): 55-75(in Chinese with English abstract).
- [14] 章永梅, 顾雪祥, 程文斌, 等. 内蒙古柳坝沟金矿床原生晕地球化学特征及深部找矿远景评价[J]. 地学前缘, 2010, 17(2): 209-221.
Zhang Yongmei, Gu Xuexiang, Cheng Wenbin, et al. The geochemical features of primary halo and the evaluation of deep mineralization prospect of Liubagou gold deposit, Inner Mongolia[J]. Earth Science frontier, 2010, 17(2): 209-221(in Chinese with English abstract).
- [15] 陈新薇, 王世新, 甘继军. 东天山红石金矿原生晕轴向分带研究[J]. 新疆地质, 2013, 31(3): 201-205.
Chen Xinwei, Wang Shixin, Gan Jijun. The research on axial zonation of primary halo of Hongshi gold deposit in Eastern Tianshan Mountain[J]. Xinjiang Geology, 2013, 31(3): 201-205 (in Chinese with English abstract).
- [16] 刘冲昊, 刘家军, 王建平, 等. 陕西省略阳县铍厂沟金矿北矿带地球化学原生晕特征及其地质意义[J]. 中国地质, 2012, 39(5): 1397-1405.
Liu Chonghao, Liu Jiajun, Wang Jianping, et al. Primary halo characteristics of the north ore zone in the Huachanggou gold deposit, Lueyang County, Shaanxi Province[J]. Geology in China, 2012, 39(5): 1397-1405(in Chinese with English abstract).
- [17] 李惠, 张文华, 刘宝林, 等. 中国主要类型金矿床的原生晕轴向分带序列研究及其应用准则[J]. 地质勘探, 1999, 35(1): 32-35.
Li Hui, Zhang Wenhua, Liu Baolin, et al. The study on axial zonality sequence of primary halo and some criteria for the atitilication of this sequence for major types of gold deposits in China[J]. Geology and Prostiecting, 1999, 35(1): 32-35(in Chinese with english abstract).
- [18] 李惠. 金矿盲矿预测的原生晕轴向“反(向)分带”和地化参数轴向“转折”准则[J]. 1999, 19(2): 114-117.
Li Hui, Axial reverse zonality of primary halo and some criteria for the twist of geochemical parameter for blind orebody exploration of gold deposits[J]. 1999, 19(2): 114-117(in Chinese with english abstract).
- [19] 李惠, 张国义, 禹斌. 金矿区深部盲矿预测的构造叠加晕模型及找矿效果[M]. 北京: 地质出版社, 2006: 1-5.
Li Hui, Zhang Guoyi, Yu Bin. Prognostic Effect of Structurally Superimposed Halo Model in the Deep Exploration of a Certain Gold-Field[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006: 1-5 (in Chinese with english abstract).
- [20] 古貌新, 戴安周. 陕西双王金矿床地质特征[J]. 陕西地质, 1983, 1(2): 1-9.
Gu Maoxin, Dai Anzhou. Geological characteristic of Shuangwang gold deposit in Shaanxi Province[J]. Geology of Shaanxi, 1983, 1(2): 1-9(in Chinese with english abstract).
- [21] 石准立, 樊硕诚, 张文宣, 等. 陕西双王金矿床地质特征及其成因[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1989: 1-113.
Shi Zhunli, Fan Shuocheng, Zhang Wenxuan, et al. Geological Characteristics and Ore Genesis in Shuangwang Gold Deposit in Shaanxi Province, China[M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 1989: 1-113(in Chinese with English abstract).
- [22] 谢玉玲, 徐九华, 钱大益. 太白金矿载金矿物标形特征[J]. 北京科技大学学报, 1997, 19(3): 223-227.
Xie Yuling, Xu Jiuhua, Qian Dayi. Typomorphic characteristics of gold-carrying mineral in Taibai gold deposit[J]. Journal of University of Science and Technology Beijing, 1997, 19(3): 223-227(in Chinese with English abstract).
- [23] 王国富, 孙振家, 彭恩生, 等. 陕西双王金矿床角砾岩动力学成

- 因探讨[J]. 大地构造与成矿学, 2002, 26(1): 81-85.
Wang Guofu, Sun Zhenjia, Peng Ensheng, et al. The dynamic genesis of breccia in Shuangwang gold deposit, Shaanxi[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2002, 26(1): 81-85(in Chinese with English abstract).
- [24] 王可新, 王建平, 刘家军, 等. 陕西太白双王金矿床地质特征及稳定同位素地球化学研究[J]. 中国地质, 2012, 39(5): 1359-1374.
Wang Kexin, Wang Jianping, Liu Jiajun, et al. Geological characteristics and stable isotopes study of Shuangwang gold deposit in Shaanxi Province[J]. Geology in China, 2012, 39(5): 1359-1374(in Chinese with English abstract).
- [25] 张方方, 王建平, 刘冲昊, 等. 陕西双王金矿黄铁矿晶体形态和热电性特征对深部含矿性的预测[J]. 中国地质, 2013, 40(5): 1634-1643.
Zhang Fangfang, Wang Jianping, Liu Chonghao, et al. The crystal forms and thermoelectricity of pyrite from the Shuangwang gold deposit, Shaanxi Province and their applications to metallogenic prognosis[J]. Geology in China, 2013, 40(5): 1634-1643(in Chinese with English abstract).
- [26] Huang J Q, Chen B W. The Evolution of the Tethys in China and Adjacent Regions [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1987: 1-109.
- [27] 陈衍景. 秦岭印支期构造背景、岩浆活动及成矿作用[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 854-865.
Chen Yanjing. Indosinian tectonic setting, magmatism and metallogenesis in Qinling Orogen, central China[J]. Geology in China, 2010, 37(4): 854-865(in Chinese with English abstract).
- [28] 陈衍景, 富士谷. 豫西金矿成矿规律[M]. 北京: 地震出版社, 1992: 234.
Chen Yanjing, Fu Shigu. Metallogenic Regularity of Gold Deposits in the Western Henan Province[M]. Beijing: Seismological Press, 1992: 1-234(in Chinese with English abstract).
- [29] 刘家军, 毛光剑, 吴胜华, 等. 甘肃寨上金矿床成矿特征与形成机理[J]. 矿床地质, 2010, 29(1): 1-16.
Liu Jiajun, Mao Guangjian, Wu Shenghua, et al. Metallogenic characteristics and formation mechanism of Zhaishang gold deposit, southern Gansu Province[J]. Mineral Deposits, 2010, 29(1): 1-16 (in Chinese with English abstract).
- [30] 张国伟, 张本仁, 袁学诚, 等. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京: 科学出版社, 2001: 855.
Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, et al. Qinling Orogenic Belt and Continental Dynamics[M]. Beijing: Science Press, 2001: 1-855 (in Chinese with English abstract).
- [31] 王宗起, 闫劝人, 闫臻, 等. 秦岭造山带主要大地构造单元的新划分[J]. 地质学报, 2009, 83(11): 1527-1546.
Wang Zongqi, Yan Quanren, Yan Zhen, et al. The new subdivision of Qinling orogenic belt[J]. Acta Geologica Sinica. 2009, 83(11): 1527-1546(in Chinese with English abstract).
- [32] 王可新. 陕西省太白县双王金矿床地质地球化学特征及成因探讨[D]. 中国地质大学(北京), 2012: 1-80.
Wang Kexin. Geological and Geochemical Features and Genesis of the Shuangwang Gold Deposit in Taibai County, Shaanxi Province [D]. China University of Geosciences, Beijing, 2012: 1-80(in Chinese with English abstract).
- [33] 李惠, 郑涛, 汤磊, 等. 陕西双王金矿床的原生叠加晕模式[J]. 桂林工学院学报, 2000, 20(4): 327-333.
Li Hui, Zheng Tao, Tang Lei, et al. The model of superimposed primary halos in Shuangwang gold deposit, Shaanxi[J]. Journal of Guilin Institute of Technology, 2000, 20(4): 327-333(in Chinese with English abstract).
- [34] 李惠, 禹斌. 陕西太白金矿床的构造叠加晕跟踪研究及进一步深部预测[R]. 长沙: 中南大学, 2011.
Li Hui, Yu Bin. Tracking Study of Structurally Superimposed Halo Model in the Deep Exploration of Shuangwang Gold Deposit, Shaanxi[R]. Changsha: Central South University, 2011.
- [35] 张军. 陕西双王金矿床地质特征及找矿标志[J]. 桂林工学院学报, 2004, 24(1): 19-23.
Zhang Jun. Geological characteristics and indicators in Shuangwang gold deposit[J]. Journal of Guilin Institute of Technology, 2004, 24(1): 19-23(in Chinese with English abstract).
- [36] 曾祥涛, 王建平, 王可新, 等. 陕西双王金矿床五号矿体铁白云石微量元素原生晕特征研究[J]. 矿物学报, 2011: 987-988.
Zeng Xiangtao, Wang Jianping, Wang Kexin, et al. The primary halo of ankerite from No.5 orebody, the Shuangwang gold deposit, Shaanxi Province[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2011: 987-988(in Chinese with English abstract).
- [37] 邢李琦, 刘炳樟. 矿床原生地球化学晕分带性研究[J]. 四川地质学报, 2011, 31(4): 489-495.
Xing Liqi, Liu Bingzhang. Zonation of primary halos of deposits[J]. Acta Geologica Sichuan, 2011, 31(4): 489-495(in Chinese with English abstract).
- [38] 孙华山, 孙林, 曹新志, 等. 胶西北上庄金矿床原生晕轴(垂向)分带特征及深部矿体预测的勘察地球化学标志[J]. 矿床地质, 2008, 27(1): 64-70.
Sun Huashan, Sun Lin, Cao Xinzhi, et al. Axial vertical zoning characteristics of primary halos and geochemical exploration indicators for deep ore body prognosis in Shangzhuang gold deposit, northwest Jiaodong peninsula, Shandong Province[J]. Mineral Deposits, 2008, 27(1): 64-70(in Chinese with English abstract).
- [39] 周学武, 李胜荣, 鲁力, 等. 辽宁丹东五龙区石英脉型金矿床的黄铁矿标型特征研究[J]. 现代地质, 2011, 19(2): 231-238.
Zhou Xuewu, Li Shengrong, Lu Li, et al. Study of pyrite typomorphic characteristics of Wulong quartz-vein-type gold deposit in Dandong, Liaoning Province, China[J]. Geoscience, 2011, 19(2): 231-238(in Chinese with English abstract).

The vertical variation of trace elements and its applications to metallogenic prognosis in the Shuangwang gold deposit, Shaanxi Province

ZHANG Fang-fang¹, WANG Jian-ping¹, WANG Chen², LIU Chong-hao¹, CAO Rui-rong³,
CHENG Jian-jun³, YANG Yong-rong³, QI Feng³, WANG Luo³

(1. State Key Laboratory of Geological Process and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;
2. Land Resources Planning and Design Institute of Chengde City, Chengde 067000, Hebei, China; 3. Shaanxi Taibai Gold Mining Co., Ltd., Taibai 716000, Shaanxi, China)

Abstract: The Fengtai ore concentration area is an important Pb–Zn–Au metallogenic area in the Qinling Mountains, and the Shuangwang gold deposit is a representative large-sized deposit of auriferous albite breccias type in this area. Based on Gregorian's zoning index method, the authors studied the vertical zoning characteristics of primary halos at the depth of drill holes ZK18–5, ZK30–1, and ZK40–5 in orebodies KT9 and KT8. By discussing the vertical variation of the zoning rate of primary halos, the graphical method of 3-end-number diagram, and the vertical change rules of the geochemical parameter, the authors hold that the orebody indicated by ZK18–5 thins out gradually at the depth, with a higher degree of mineralization at the elevation of 950 m; bead-shaped orebodies may occur at the depth of ZK30–1, with a higher degree of mineralization at the elevation of 980 m; the ore body indicated by ZK40–5 with a higher degree of mineralization at the elevation of 850 m still extends to the depth without pinching out.

Key words: trace elements; deep prediction; Shuangwang gold deposit; Shaanxi

About the first author: ZHANG Fang-fang, female, born in 1990, master candidate, majors in the study of mineralogy, petrology and mineral deposits; E-mail: zff19901008@126.com.

About the corresponding author: WANG Jian-ping, male, born in 1972, associate professor, mainly engages in the study of mineral deposits; E-mail: jpwang@cugb.edu.cn.